

# Naturvidenskabelige undersøgelser af mursten i Sorø Klosterkirke – sortering af mursten

*Af Kaare Lund Rasmussen, Christina Andersen og Thomas Bertelsen*

## 1. Indledning

De røde mursten – det smukkeste danske bygningsmateriale – kan ses både ude og inde i Sorø Klosterkirke. De middelalderlige mure er ikke som så mange andre danske kirker helt dækket af kalk og puds, og materialevalget kan derfor let aflæses. Derfor har vi gennemført en naturvidenskabelig undersøgelse af lerproveniensen i syv udvalgte partier af kirken, for at kortlægge de anvendte lerforekomster i teglmaterialet. Forskelle i lerproveniensen kan give indsigt i kirkens byggeforløb over både korte og længere perioder. Skift i lerproveniensen betyder leverancer af sten fra forskellige lergrave og i mange tilfælde også fra forskellige ovne. Proveniensbestemmelse af murstenene kan kaste lys over de underliggende økonomiske, handelsmæssige og endda politiske forhold, der herskede i de perioder, hvor bygningen blev opført. Forskelle i lerproveniensen kan også fortælle om reparationsfaser og om genanvendelse af sten fra nu nedrevne bygningsdele. I det store perspektiv kan lerproveniensen af mursten fortælle om fjerntliggende og nu nedrevne middelalderbygninger, hvis sten er blevet genanvendt. Formålet med undersøgelsen er imidlertid langt mindre ambitiøst – vi vil blot forsøge at slå et par søm i væggen, som vores bygningshistoriske kolleger kan bruge til at klatre på, når de forsøger at udrede det store puslespil som Sorø Klosterkirkes bygningshistorie er.

Nedenfor vil man desuden finde den første anvendelse af præcise farvemålinger på middelalderlige mursten. Det er let for en iagttager at se forskel på stenenes farve i den samme facade, men uden en naturvidenskabelig måling er det umuligt at erkende små nuanceforskelle i mursten på forskellige facader eller mellem facade og bagmur, idet lysforholdene aldrig er helt ens. Resultaterne af disse målinger viser sig at give en helt ny indsigt, og er overraskende anvendelige.

## 2. Prøvetagning og prøveforbehandling

I felten, i dette tilfælde på kirkens loft, har vi udtaget små murstensprøver med hammer og mejsel (fig. 1). Alle prøverne er udtaget fra kirkeloftet, hvor der er let adgang til velbevarede murpartier, herunder hvælvenes oversider. En prøve er almindeligvis på 0,1 til 1 g. Når den ankommer til laboratoriet, tørres den i en ovn ved 110° C i 12 til 24 timer. I nærværende arbejde er der udtaget 10 prøver i seks forskellige bygningspartier foruden 5 prøver i yderligere ét bygningsparti (fig. 2).

### *Målemetoder – Magnetisk susceptibilitet og termoluminiscensfølsomhed*

Lerproveniensen er blevet bestemt ved måling af magnetisk susceptibilitet og termoluminiscensfølsomhed.<sup>1</sup> Metoden går i korthed ud på at udvælge et sæt prøver på 10 forskellige sten fra hvert af de udvalgte bygningsdele, hvorpå man bestemmer to af



Fig. 1. Prøvetagning i Sorø klosterkirke. a: Prøver udtages til proveniens ved Sorø-1, fra venstre Vibe Bach, Kaare Lund Rasmussen og Christina Andersen; b: Prøver udtages i hvælvet ved Sorø-6, fra venstre Vibe Bach og Christina Andersen. Foto: Per O. Thomsen.

hinanden uafhængige egenskaber ved stenen: Den magnetiske susceptibilitet og termoluminiscensfølsomheden. Måleværdierne plottes mod hinanden i et diagram med logaritmiske akser, og det undersøges, hvorvidt måleværdierne fra de forskellige bygningsdele udviser et sammenfald eller ej. Ses der ikke et sammenfald, konkluderer vi, at de to grupper er af forskellig proveniens.

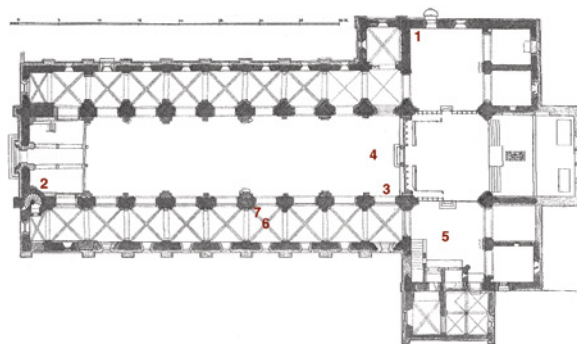


Fig. 2. Grundplan for Sorø Cistercienserkløsterkirke. De undersøgte bygningsdele, der er markeret på figuren, er alle i murpartier og hvælve tilgængelige fra kirkens loft.

Den magnetiske susceptibilitet måles ved hjælp af et susceptibilitetsmåleudstyr (her et Kappabridge KLY-2 fra Geofyzika i Brno). Målingen er ikke-destruktiv og består i at måle den i prøven inducerede magnetisering ved et ydre påtrykt langsomt varierende magnetfelt. Der korrigeres for susceptibiliteten af prøveholderen og den plastpose, prøven ligger i, ligesom der hver dag måles en standardprøve med kendt susceptibilitet for at korrigere for eventuelt drift af målemaskinen. Alle målinger gentages fire gange med prøven i forskellige retninger, og der udregnes gennemsnit og standardafvigelse. Ved termoluminiscensmålingen fjernes prøvens overflade i et mørkekammer og det indre af prøven knuses og sigtes. Fraktionen mellem 100 og 300  $\mu\text{m}$  anvendes til den videre analyse. Fire delprøver af hver ca. 8 mg udglødes ved 200° C i 30 sekunder i TL-apparatet, som er et TL/OSL DA15 fremstillet på Risø. Herefter fortsættes opvarmningen til 400° C, samtidig med at palæosignalet aflæses. Dernæst bestråles prøven i 1 minut under en kraftig radioaktiv betakilde ( $^{90}\text{Sr}$ ). Effekten af denne kunstige bestråling aflæses ved en ny udglødning ved 200° C efterfulgt af opvarmning til 400°

C. Integralet af signalet mellem 202 og 235° C udlæses og normaliseres med den præcise prøvevægt, hvis den ikke overstiger 8 mg. Er prøvens vægt større end 8 mg, normaliseres med 8 mg. Der korrigeres for eventuel drift eller varierende følsomhed i forhold til en standardprøve. Alle prøver analyseres fire gange. Gennemsnittet af de 4 målinger udgør det endelige måltal for termoluminiscensfølsomheden og samtidig hermed udregnes standardafvigelsen på målingerne.

Den magnetiske susceptibilitet og termoluminiscensfølsomheden afsættes mod hinanden i et diagram med logaritmiske akser. Erfaringen viser, at brændt ler fra forskellige lerkilder ofte falder forskellige steder i diagrammet.

#### *Farvemålinger*

Som noget nyt, og forsøgt for første gang i netop denne undersøgelse, har vi målt farven af de samme sten, hvorpå der er målt magnetisk susceptibilitet og termoluminiscensfølsomhed. Den karakteristiske orange glød i danske middelaldermursten skyldes, at man har anvendt det såkaldte rødler, som den overvejende del af Danmarks middelalderlige teglstensbyggeri er udført af. Rødleret findes i rigelige og lettilgængelige mængder over det meste af landet, hvor det danner de øverste ca. 5-8 m jordlag. Regionalt er rødleret dog overtaget af det almindeligvis dybereliggende blåler, der under brændingen bliver gult.<sup>2</sup> Gule teglsten tillægges traditionelt en stor rolle for byggeriet på Midsjælland, egnen omkring Mariager fjord og i Vendsyssel, hvor blålerets indflydelse på teglproduktionen bekræftes i det middelalderlige kirkebyggeri.<sup>3</sup> I Vendsyssel og de østlige Limfjordsegne har stenene en jævn og klar farve, men som regel er de flammede i orange-røde nuancer, som skyldes forurening med rødler. Flammede sten anvendes undertiden også sideordnet

med almindelige røde. Der er næppe tvivl om, at lokale geologiske jordbundsforhold har haft afgørende indflydelse på teglbyggeriets fysiske fremtræden, men fra og med middelalderens sidste del blev der også importeret sten fra navnlig Nordtyskland. Teglsten, som angiveligt stammer fra den nedrevne Skagen Sankt Laurentii, har stempler fra to lybske teglværker, og den store købstadskirke kunne måske ikke realiseres uden import fra et stort velorganiseret teglværk.<sup>4</sup> Det har dog sikkert kun kunnet betale sig, at importere sten til større byggeopgaver. Ved opførelsen af landsbykirker og tilbygninger var den lokale produktion formentlig tilstrækkelig, og når der også indgår gule sten i enkelte byggerier i Nordvestjylland, på Fyn og Falster, er de givetvis udført af lokalt ler; mindre partier af særlige teglsten til brug for mønstermuring kan dog ikke afvises at være fragtet over lang afstand.<sup>5</sup>

Den kemiske forklaring på forskellen mellem rødler og blåler og dermed farven på de brændte mursten findes i forholdet mellem calciumkarbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) og jernoxid ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ). Hvis der vægtmæssigt er mere end tre gange så meget calciumkarbonat som jernoxid, så er der tale om blåler. Grunden til at rødleret ofte findes i de øvre jordlag, er, at her er calciumkarbonaten vasket ud gennem de årtusinder, der er forløbet siden istidens slutning.

Farvæstetikken i middelalderens teglstenskunst er et felt der herhjemme er arbejdet meget lidt med. Hvad blev foretrukket og anset for smukkest: En orange-rød sten, en mørkerød sten eller en gulflammet sten? Hvis den middelalderlige bygmester havde en præference, så er der jo god grund til at tro, at der kan have fundet en sortering sted efter stenenes farve. Hvis dette er sket på byggepladsen, åbner det for nye muligheder for at afsløre hidtil ukendte aspekter af

byggeriet, herunder skelen mellem forskellige bygningspartier der i øvrigt er udført af sten fra samme lergrav og ikke mindst opnåelse af en dybere forståelse af bygmesterens intentioner med byggeriet.

At måle farver er imidlertid ikke så enkelt. Farver er et fysisk sanseindtryk og er derfor ikke direkte tilgængelige for videnskabelige målinger. Det er kun muligt at måle på de *stimuli*, der har en konsekvens for farveopfattelsen. I 1976 anbefalede Commission Internationale de l'Eclairage (CIE) at bruge  $L^*a^*b^*$  farveskalaen.<sup>6</sup> Den er udviklet med det formål at give en tilnærmelsesvis ensartet farveskala, og den muliggør sammenligning af farver. I denne farveskala er der således en korrelation mellem afstanden af de plottede punkter og den visuelle forskel mellem farverne.  $L^*a^*b^*$  farvesystemet er organiseret i et kubisk koordinatsystem.  $L^*$ -aksen går fra bund til top, og er et mål for hvor lys eller mørk, farven er. Den spænder fra 0 til 100, hvor 0 repræsenterer sort og 100 repræsente-

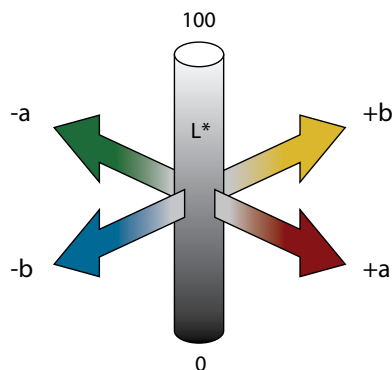


Fig. 3. Farvesystemet  $L^*a^*b^*$ , defineret af CIE i 1964.  $L^*$  går fra 0 (sort) til 100 (hvid). Positive værdier for  $a^*$  betyder en rød farve, mens negative værdier betyder en grøn farve. Positive værdier for  $b^*$  betyder gul farve, negative værdier blå. Enhver farve kan repræsenteres i diagrammet. Forskelle i afstand i diagrammet modsvarer fysiologiske forskelle i opfattelsen af farver. Efter Schanda 2007.

rer hvid.  $a^*$ - og  $b^*$ -akserne har ikke nogen numeriske grænser. Positive  $a^*$ -værdier er røde og negative  $a^*$ -værdier grønne, mens positive  $b^*$ -værdier er gule og negative  $b^*$ -værdier blå, se skematisk diagram i fig. 3.<sup>7</sup>

Til farvemålingerne har vi anvendt et håndholdt Minolta CM-2600d spektrofotometer. Efter hver udtagning af en prøve til proveniens blev spektrofotometeret holdt lige over det sted, hvor prøven var taget og farvemålingen blev udført i det friske skår. Apparatet består af et helt hvidt hulrum, der har et lille cirkelrundt hul i væggen med en diameter på 3 mm, som i målesituationen udfyldes af objektet, hvis farve man ønsker at måle. Målingen sker ved, at en blitzlampe udlades inde i det hvide hulrum, hvorefter det reflekterede lys, herunder altså også det reflekterede lys fra murstenen, måles med et fotospektrometer inde i apparatet. Farven af blitzlyset, kaldet illuminanten, er derfor afgørende for resultatet. Som illuminant har vi valgt den såkaldte D65, der er en standard illuminant, som repræsenterer dagslys svarende til en sortlegemestråling med en temperatur på 6500 K. Den vinkel man betragter objektet fra, påvirker også målingen. Som observeringsvinkel er valgt den standard kolorimetrisk observatør på 10°, der anbefales af CIE (1964), og som normalt bruges sammen med standard illuminanten D65. Målingen repræsenterer således gennemsnitsfarven i et cirkulært areal på objektet med en diameter på 3 mm. Mellem hver måling kalibreres instrumentet på en indbygget hvid kalibreringsplade.

### Resultater

Der er udvalgt prøver fra syv forskellige bygningspartier (fig. 1), på hvilke der er udtaget prøver af 10 forskellige sten, i ét bygningsparti dog kun 5 sten. Måleresultaterne på disse sten er angivet i Tabel 1. Lerproveniens for stenene fra bygningsdelene Sorø-1 og Sorø-7

Lab	Prøve	SUS	STD	TL-F	STD	L*	a*	b*
Bagmuren af nordre korsarms gavltrekant								
KLR-7341	SORØ-1-1	7,60	0,0032	24,5	8,5	31,77	17,08	26,27
KLR-7342	SORØ-1-2	6,02	0,0041	34,3	8,0	45,83	21,40	27,78
KLR-7343	SORØ-1-3	3,86	0,0026	25,4	4,0	43,46	18,17	27,33
KLR-7344	SORØ-1-4	4,81	0,0019	30,1	3,7	38,83	18,65	24,69
KLR-7345	SORØ-1-5	9,38	0,0110	23,8	3,4	38,13	16,75	22,73
KLR-7346	SORØ-1-6	5,30	0,0033	26,5	0,5	38,47	21,15	28,64
KLR-7347	SORØ-1-7	4,04	0,0014	35,5	6,7	45,25	23,50	31,01
KLR-7348	SORØ-1-8	3,79	0,0019	29,0	3,9	28,89	22,36	28,78
KLR-7349	SORØ-1-9	6,39	0,0000	31,2	4,8	36,27	18,02	22,09
KLR-7350	SORØ-1-10	2,55	0,0014	38,2	4,2	28,65	18,34	24,03
Bagmuren af midtskibets vestre gavltrekant (Gavltrekantens oprindelige nedre del).								
KLR-7351	SORØ-2-1	0,55	0,0024	3,2	0,3	36,71	11,23	17,75
KLR-7352	SORØ-2-2	1,08	0,0027	7,9	1,1	15,56	4,67	7,11
KLR-7353	SORØ-2-3	3,44	0,0031	9,4	0,6	27,82	11,23	14,97
KLR-7354	SORØ-2-4	2,14	0,0000	10,2	2,4	22,22	9,81	15,06
KLR-7355	SORØ-2-5	0,50	0,0000	5,6	0,7	21,07	9,33	15,73
KLR-7356	SORØ-2-6	1,05	0,0000	10,1	2,3	27,99	14,80	22,17
KLR-7357	SORØ-2-7	0,35	0,0035	7,0	1,4	25,93	14,40	15,42
KLR-7358	SORØ-2-8	0,37	0,0027	10,6	1,2	39,56	10,39	16,19
KLR-7359	SORØ-2-9	2,36	0,0020	16,9	1,7	33,51	13,55	20,07
KLR-7360	SORØ-2-10	1,74	0,0013	15,2	2,1	37,25	15,80	21,61
Søndre høj Kirkemurs bagmur – 1. fag fra øst.								
KLR-7361	SORØ-3-1	0,40	0,0000	6,5	0,5	41,42	13,99	24,13
KLR-7362	SORØ-3-2	1,57	0,0023	16,4	1,3	29,64	20,00	21,60
KLR-7363	SORØ-3-3	0,54	0,0000	21,8	5,4	26,85	16,18	21,28
KLR-7364	SORØ-3-4	2,35	0,0000	8,1	1,3	33,02	13,30	18,47
KLR-7365	SORØ-3-5	0,86	0,0019	28,9	2,9	41,60	19,01	22,07
Midtskibets 1. hvælv fra øst.								
KLR-7366	SORØ-4-1	3,97	0,0038	27,1	1,5	37,75	17,73	22,79
KLR-7367	SORØ-4-2	0,96	0,0000	28,1	4,9	36,54	16,59	20,08
KLR-7368	SORØ-4-3	7,15	0,0153	9,6	1,3	47,96	15,63	24,17
KLR-7369	SORØ-4-4	0,82	0,0030	7,6	1,1	49,68	13,23	25,46
KLR-7370	SORØ-4-5	1,08	0,0000	42,0	5,5	46,16	16,46	18,94
KLR-7371	SORØ-4-6	0,71	0,0020	40,2	2,8	26,26	18,39	21,32
KLR-7372	SORØ-4-7	5,75	0,0023	25,6	4,3	30,09	10,85	17,15

Tab. 1. Resultater af de naturvidenskabelige målinger på Sorø klosterkirke. Første kolonne er Laboratorienumre; 2. kolonne er prøvenumre; 3. kolonne målingerne af den magnetiske susceptibilitet; 4. kolonne usikkerheden på beregnet på 4 gentagne og uafhængige susceptibilitetsmålinger ( $\pm 1$  stan-

Lab	Prøve	SUS	STD	TL-F	STD	L*	a*	b*
KLR-7373	SORØ-4-8	4,17	0,0023	21,7	2,4	25,39	15,33	20,17
KLR-7374	SORØ-4-9	3,68	0,0032	49,4	7,4	24,63	14,82	17,84
KLR-7375	SORØ-4-10	0,50	0,0000	40,9	1,1	37,54	14,71	18,44
Søndre korsarms hvælv.								
KLR-7376	SORØ-5-1	5,62	0,0023	26,7	3,4	49,76	12,86	18,54
KLR-7377	SORØ-5-2	7,00	0,0000	24,4	1,8	57,21	12,69	20,72
KLR-7378	SORØ-5-3	1,33	0,0000	42,3	6,4	34,11	21,14	28,28
KLR-7379	SORØ-5-4	0,49	0,0000	35,3	4,8	34,09	19,88	21,86
KLR-7380	SORØ-5-5	1,33	0,0000	42,7	2,6	28,20	15,66	18,37
KLR-7381	SORØ-5-6	9,89	0,0100	10,5	1,3	23,75	4,81	9,50
KLR-7382	SORØ-5-7	5,59	0,0078	11,4	3,2	28,94	9,62	16,76
KLR-7383	SORØ-5-8	0,89	0,0008	29,0	5,3	24,75	11,41	14,74
KLR-7384	SORØ-5-9	7,75	0,0000	21,0	1,7	18,57	12,30	15,30
KLR-7385	SORØ-5-10	0,49	0,0019	33,7	5,5	41,32	21,22	29,05
Søndre sideskibs 4. hvælv fra øst.								
KLR-7386	SORØ-6-1	3,21	0,0044	17,6	1,9	41,54	14,26	24,04
KLR-7387	SORØ-6-2	1,52	0,0000	29,5	5,3	15,97	10,79	16,82
KLR-7388	SORØ-6-3	2,85	0,0012	15,0	0,4	37,17	14,98	23,42
KLR-7389	SORØ-6-4	2,37	0,0052	32,1	6,8	40,44	22,86	30,24
KLR-7390	SORØ-6-5	3,56	0,0015	52,6	6,9	43,24	10,71	14,65
KLR-7391	SORØ-6-6	2,85	0,0008	42,5	8,8	35,95	19,96	24,07
KLR-7392	SORØ-6-7	3,91	0,0000	11,3	0,8	47,01	10,24	18,24
KLR-7393	SORØ-6-8	1,53	0,0000	32,5	4,7	40,00	18,16	27,28
KLR-7394	SORØ-6-9	28,64	0,0108	29,6	5,9	26,18	14,72	20,42
KLR-7395	SORØ-6-10	3,30	0,0012	26,4	1,3	16,89	11,26	16,23
Søndre høj Kirkemurs yderside – 4. fag fra øst.								
KLR-7396	SORØ-7-1	6,03	0,0020	27,0	3,9	23,43	14,06	14,91
KLR-7397	SORØ-7-2	8,23	0,0023	29,3	5,2	30,48	14,40	18,33
KLR-7398	SORØ-7-3	3,45	0,0016	21,6	1,1	34,63	20,81	20,56
KLR-7399	SORØ-7-4	3,34	0,0013	27,7	3,8	20,70	17,70	18,84
KLR-7400	SORØ-7-5	2,79	0,0039	34,3	3,7	30,68	16,46	17,48
KLR-7401	SORØ-7-6	6,86	0,0035	27,2	3,7	26,78	12,27	15,80
KLR-7402	SORØ-7-7	8,96	0,0000	34,2	1,8	28,62	17,24	19,83
KLR-7403	SORØ-7-8	5,21	0,0000	33,6	7,6	49,91	13,84	17,37
KLR-7404	SORØ-7-9	0,66	0,0000	50,1	5,4	42,98	25,52	33,20
KLR-7405	SORØ-7-10	1,98	0,0023	37,9	4,3	39,00	17,03	17,68

dardafvigelse); 5. kolonne er målingerne af TL-følsomheden; 6. kolonne er usikkerheden på 4 uafhængige TL-målinger ( $\pm 1$  standardafvigelse); 7. kolonne er farvemålingerne af L\*, 8. kolonne a\*; og 9. kolonne b\*. Måleusikkerheden på farvemålingerne er 0,01 på både L\*, a\* og b\*.

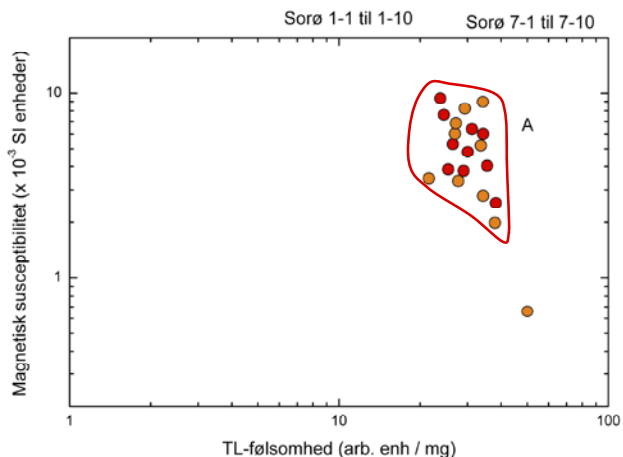


Fig. 4. Magnetisk susceptibilitet versus TL-følsomhed. Farvekoden er: Sorø-1 rød og Sorø-7 orange. Lerkilde A angivet med rød streg.

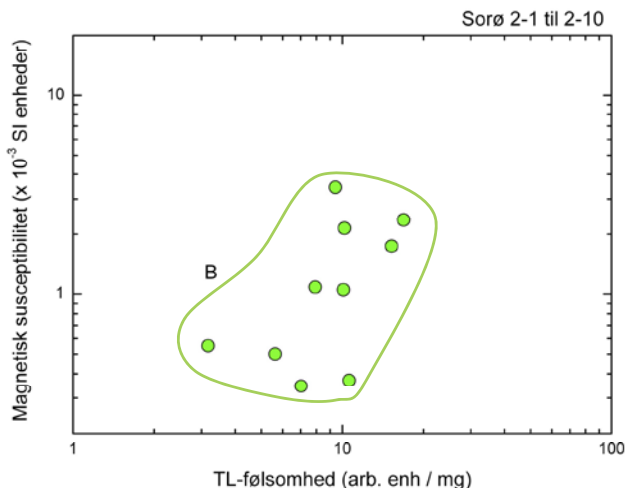


Fig. 5. Magnetisk susceptibilitet versus TL-følsomhed for Sorø-2 (grøn). Lerkilde B angivet med grøn streg.

er sammenfaldende, som det kan ses af figur 4. Sorø-1 er angivet med røde symboler og Sorø-7 med orange symboler. Den fælles lerkilde betegnes som Lerkilde A.

Målingerne for Sorø-2 er vist i figur 5 med grønne symboler. De definerer Lerkilde B, der er markeret med en grøn kurve i figur 5. Målingerne fra Sorø-6 er vist i figur 6 med olivenfarvede symboler, der definerer Lerkilde C. Samtlige målte prøver er vist i figur 7.

Farvemålingerne er vist på figur 8.

### Diskussion

En klassisk måde at bestemme proveniens af mursten på er ved opmåling af stenens dimensioner. I Sorø Klosterkirke blev der samtidig med udtagningen af murstensprøver målt på størrelsen af disse sten samt nogle af de omkringliggende sten. I Tabel 2 ses en oversigt over stenenes størrelse med de tilhørende usikkerheder. I fig. 9 ses stenstørrelser ved siden af hinanden, og på figur 10 er bredden af stenene vist mod højden med de målte usikkerheder.

Det fremgår af både fig. 9 og 10, at man ikke kan se forskelle i stenenes størrelser i de udvalgte bygningspartier ved hjælp af den klassiske metode, som det ellers til en vis grad kunne gøres for stenene i Svendborg Sankt Nikolaj.<sup>8</sup> Thomas Bertelsen konkluderer ligeledes, at det kun med store forbehold er muligt at anvende teglstensformater i dateringsøjemed.<sup>9</sup> Vi er derfor henvist til data fra den naturvidenskabelige proveniensbestemmelse og farvemålingerne.

Proveniensbestemmelserne for Sorø-1 og Sorø-7, der er plottet i figur 3, viser et meget klart sammenfald og en meget veldefineret og snæver lerproveniens (A). For Sorø-2 ses noget mere spredning i måleresultaterne (fig. 5), hvor lerkilde B er indtegnet med grøn streg. I figur 6 ser man, at en del af punkterne fra Sorø-3 (blå punkter) falder indenfor lerkil-

Bygningsdel	Længde, cm	Bredde, cm	Højde, cm
Sorø-1	28,8±0,8	12,9±1,0	8,8±0,6
Sorø-2	27,7±1,1	13,0±0,9	9,0±0,8
Sorø-4		13,2±0,3	8,3±0,4
Sorø-5		13,0±0,6	8,0±0,5
Sorø-6		12,9±0,4	8,2±0,4
Sorø-7	28,4±0,5	12,1±0,3	8,0±0,5

Tab. 2. Oversigt over middelværdierne for længde, bredde og højde af de målte mursten (Sorø-3 ej opmålt), samt 1 standardafvigelse af disse. Tre specielle eller tildannede sten er ikke medtaget i tabellen.

de B. Men der ligger også to blå punkter i den uvisse gruppering nederste til højre i diagrammet, markeret med en stiplede kurve. Grunden til at denne relativt tætte gruppering anses for usikker og ikke direkte fortolkes som en selvstændig lerkilde, er, at den ikke er defineret af punkterne fra et enkelt bygningsselement. Der kan måske være tale om reparationssten, som således indgår i flere bygningsdele (3, 4, 5 og 7).

Lerkilde C, defineret af stenene fra Sorø-6, har overlap med både lerkilde A og B og er den mindst diagnostiske af de 3 lerprovenienser, som man i vores fortolkning ser i de undersøgte bygningsdele af Sorø Klosterkirke. Tre bygningsdele udviser yderst spredte punkter i fig. 7, nemlig Sorø-3 (blå), Sorø-4 (violet) og Sorø-5 (gul), hvor der sikkert er tale om en blanding af sten fra forskellige kilder.

Farvemålingernes  $a^*$  og  $b^*$  udviser en meget systematisk variation, som det ses på fig. 8. De målte farveværdier fordeler sig strengt omkring en ret linie ( $b^* = 1,3 a^*$ ), hvilket betyder at stenene i almindelighed er orange (en blanding af gul og rød). Ser man i dette diagram på fordeling af de forskellige bygningspartier, så ses det, at Sorø-1 udelukkende ligger i det øverste højre hjørne af figuren, indenfor den med orange markerede kurve. Farverne på de sten, hvis punkter ligger

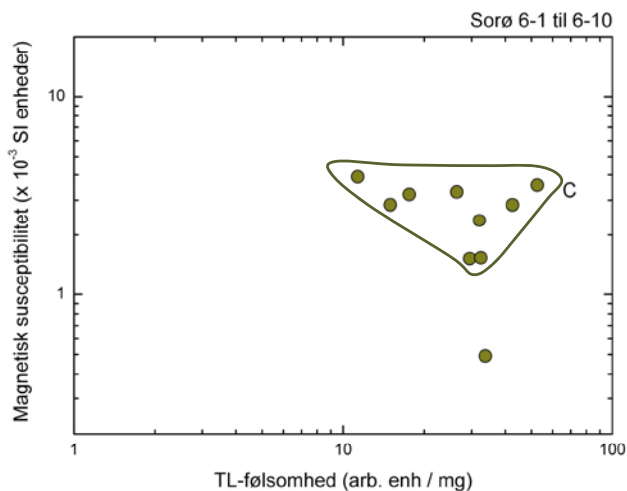


Fig. 6. Magnetisk susceptibilitet versus TL-følsomhed for Sorø-6 (oliven). Lerkilde C angivet med oliven streg.

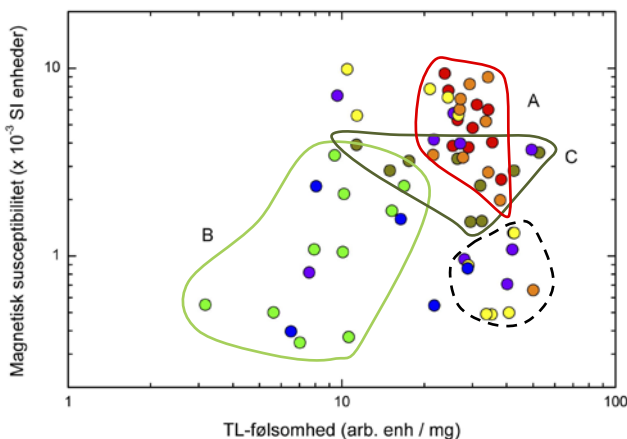


Fig. 7. Magnetisk susceptibilitet versus TL-følsomhed. Farvekoden er: Sorø-1 rød; Sorø-2 grøn; Sorø-3 blå; Sorø-4 violet; Sorø-5 gul; Sorø-6 oliven; Sorø-7 orange. Lerkilde A angivet med rød streg; lerkilde B med grøn streg; lerkilde C med olivenfarvet streg, og en uvis gruppering, som er omtalt i teksten er angivet med stiplede kurve.



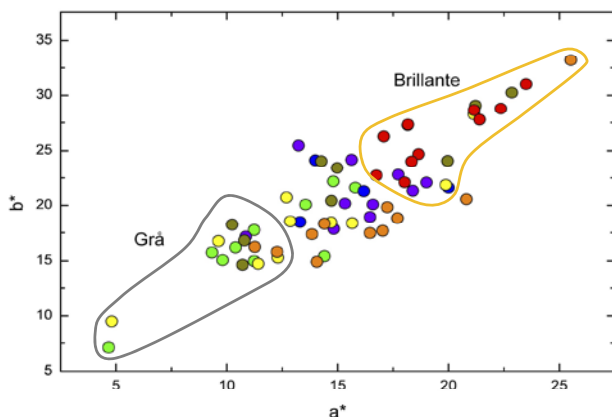


Fig. 8. Resultaterne af farvemålingerne. Figuren viser  $a^*$  versus  $b^*$ . De farvemættede brillante sten er markeret med en orange kurve i øverste højre hjørne. De mindste farvede grålige sten er markeret med en grå kurve i diagrammets nederste venstre del. Bemærk, at alle punkter fra Sorø-1 er brillante, mens Sorø-3 og Sorø-4 alle på nær to er hverken eller.

inden for denne kurve, er meget farvemættede og man kan kalde dem *brillante*. Blandt de brillante findes også sten fra lerkilde C. Modsat hertil kan farven af stenene nederst til venstre i diagrammet beskrives som meget lidt farvemættede, eller *grålige*. Blandt de grålige sten findes sten fra Sorø-2, Sorø-5, Sorø-6 og Sorø-7, men ingen sten fra Sorø-1. Blandt de almindeligt farvede sten, hvilket vil sige hverken de brillante eller de grålige, findes alle stenene fra Sorø-3 og Sorø-4 på nær to.

Det er interessant at observere, at stenene fra Sorø-1 og Sorø-7 har forskellige farver, men samme lerproveniens (A). Hvad kan årsagen være til dette? Vi kan fremlægge to mulige tolkninger: 1) Der er tale om to forskellige brændinger; eller 2) der har fundet en sortering sted efter brændingen enten ved tegloven eller på byggepladsen. Hvis man skal forsøge at sondre mellem disse to hypoteser, så kunne man argumentere, at den største forskel i farve mellem to brændin-

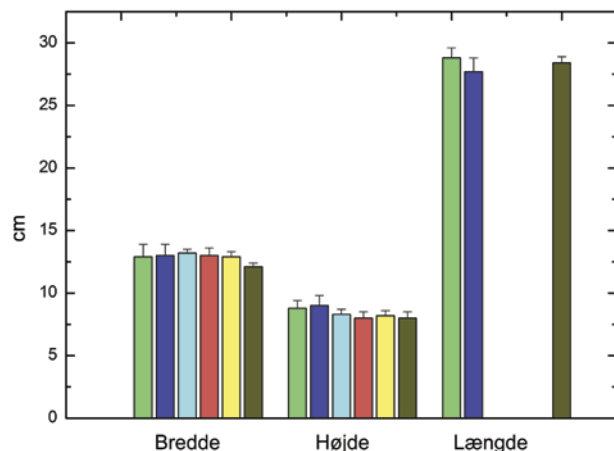


Fig. 9. Størrelserne af de målte sten. Usikkerheden,  $\pm 1$  standardafvigelse, er markeret med sorte fejllinier.

ger fra samme ovn formodentlig vil opstå, hvis der er forskellige iltspændinger tilstede inde i ovnen under brændingen. Faktisk må det vel være sådan, at variation i iltspændingen under brændingen er den alt-afgørende parameter, der reelt kan føre til farveforskelle i stenene, når man forudsætter, at leret er det samme. Hvis det ene parti, i dette tilfælde de grålige sten fra Sorø-7, er brændt ved en lavere iltspænding, så må man også forvente at de bliver mørkere, hvilket vil sige, at  $L^*$  skulle være lavere. Vi har også målt  $L^*$ , og på figur 11 ses  $L^*$  afsat som funktion af farvemætningen, der udregnes som kvadratroden af  $(a^{*2} + b^{*2})$ . Man ser af figur 11, at der ikke er nogen væsentlig forskel i  $L^*$  mellem Sorø-1 og Sorø-7.

Regner man gennemsnittet og usikkerheden af  $L^*$  ud for de to bygningsdele, så får man  $L^* = 37,6 \pm 6,3$  for Sorø-1 og  $L^* = 32,7 \pm 9,0$  for Sorø-7. Inden for disse usikkerheder må de to  $L^*$ -værdier betragtes som ens.



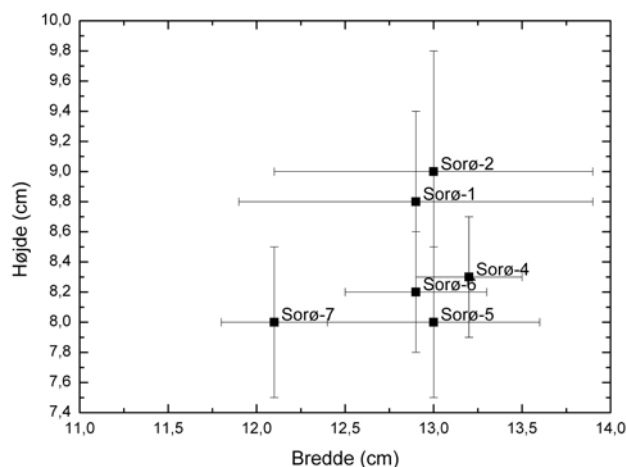


Fig. 10. Højde versus bredde af stenene størrelse. Usikkerheden,  $\pm 1$  standardafvigelse, er markeret omkring punkterne. Selvom man tager to dimensioner i brug, kan stenene fra de forskellige bygningsdele ikke skelnes fra hinanden, når man tager usikkerheder i betragtning.

Det er derfor sandsynligt, at hypotesen om to forskellige brændinger med forskellig ilttilførsel må forkastes.

Det er derfor sandsynligt, at farvemålingerne kan fortolkes således, at der har fundet en sortering af stenene sted. Vi kan ikke afgøre om denne sortering har fundet sted ved tegloven eller på byggepladsen, men man kunne fristes til at foreslå det sidste. Måske har man sorteret med henblik på at anvende 'fejlfarvede' sten i den del af murene, som var skjult bag taget eller på anden måde usynlige for en iagttagere; et princip der i øvrigt minder meget om den måde, der sorteres sten på endnu i dag.

På fig. 12 ses et udsnit af tårnets vestfacade på Sankt Nicolai Kirke i Svendborg. Dette murværk blev genmuret ved restaureringen i 1892-94 der blev forestået af en af tidens velanskrevne restaureringsarkitekter, H.B. Storck (1839-1922) i samarbejde med den yngre

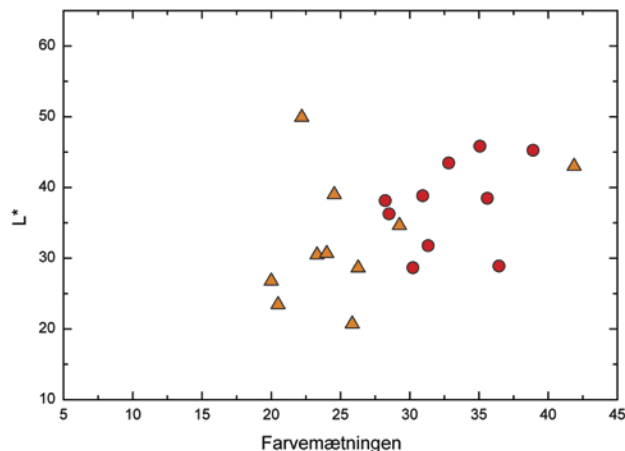


Fig. 11.  $L^*$  som funktion af farvemætningen for Sorø-1 (røde cirkler) og Sorø-7 (orange trekanter). Farvemætningen udregnes som kvadratroden af  $(a^2 + b^2)$ . Man ser ingen væsentlig forskel i  $L^*$  mellem de to grupper.

arkitekt J. Magdahl-Nielsen (1862-1941), der virkede som konsulent og daglig leder på restaureringsarbejdet. På fig. 12 ses tydeligt, at man har sorteret de mørke sten fra og anvendt dem som bindere, hvilket tilfører murværket et jævnt net af mørke pletter, måske inspireret af Roskilde Domkirke som omtalt nedenfor. Om det er Storck eller Magdahl-Nielsen, der har lanceret udtrykket står hen i det uvisse, men den lokale murer er det næppe.<sup>10</sup> Eksemplet her er ganske vist fra nyere tid, men støtter tanken om, at sten-sortering også kan have fundet sted i middelalderen, hvad vi altså for første gang dokumenterer med brug af farvemålinger i Sorø Klosterkirke.

### 3. Polykrom teglstensarkitektur

Undersøgelserne i Sorø Klosterkirke antyder, at der ved opførelsen blev foretaget en omfattende sorte-



Fig. 12. Udsnit af vestfacaden på Svendborg Sankt Nicolais tårn. Murværket er omsat ved restaureringen i 1892-94, ledet af H.B. Storck med J. Magdahl-Nielsen som konduktør. Bemærk de mørke bindere – der har fundet en sortering af stenene sted. Foto: KLR 2012.

ring af teglstenene, hvis farve kan være tillagt en rolle i det arkitektoniske udtryk. Denne antagelse, der åbner for et sjældent indblik i de æstetiske overvejelser i middelalderens teglbygningskunst, bekræftes ikke mindst i landets omfattende senmiddelalderlige bygningsmasse, hvor teglstenenes vekslende farvespil hyppigt ses anvendt som arkitektonisk virkemiddel, hvilket netop forudsatte stensortering.

Brugen af teglsten i forskellig farve til polykrome facadedekorationer har hovedsageligt relevans for den del af den middelalderlige bygningsmasse, der blev opført i røde sten, som herhjemme også har langt størst udbredelse. I middelalderens teglovne var temperaturen ikke stabil, og for røde teglsten fremstillet af rødler havde dette indflydelse på farveholdningen. Ved meget høje temperaturer tæt på varmekilden i ovnens midte eller ved fyringsåbningen fik rødleret således en mørkere, undertiden sort toning.<sup>11</sup> I den samme brænding kunne stenenes farve variere meget, hvilket ikke i samme grad var tilfældet for teglsten af rent blåler, der fik

en klar gul farve.<sup>12</sup> Denne konsekvens af periodens teglbrændingsmetode blev dog ikke nødvendigvis set som et onde, men udnyttet til polykrome facadedekorationer, der undertiden danner komplicerede mønstre.

Udbredelsen af polykrome tegldekorationer i den hjemlige teglstenskunst er vanskelig at vurdere. Mange dekorationer er utvivlsomt gemt under de tykke kalklag, som dækker mange af landets middelalderkirker, og murafrænsninger kan bringe upåagtede dekorationer for dagens lys. Vurderet ud fra de kendte eksempler har regulær mønstermuring alene med polykrome teglsten først og fremmest at være et østdansk fænomen. Flertallet findes på Sjælland, hvor den fornemmeste repræsentant er Roskilde Domkirkes Helligtrekonger kapel fra omkring 1460, hvis røde facader brydes af dekorationer af glaserede sten og mørkbrændte bindere (fig. 13).<sup>13</sup> Vinduer og blændinger er indfattet af vekslende røde og sortglaserede sten, mens der over facaderne løber en rudemuret frise, som allerede fra 1200-tallets slutning var et yndet motiv på Den Tyske Ordens byggerier i Polen og Baltikum.<sup>14</sup> På Sjælland kendes lignende friser fra både verdsligt og kirkeligt byggeri, mens de kun ses i begrænset omfang vest for Storebælt. Tidsmæssigt spænder de fra 1300-tallets anden halvdel til omkring 1600 men omfatter i Danmark ikke mange flere end et dusin kendte eksempler.<sup>15</sup>

Helligtrekonger-kapellets kultiverede teglfacader er et hjemligt højdepunkt inden for mønstermuring med polykromt tegl, der oftest er begrænset til buestik sat af vekslende røde og mørke sten (fig. 14). Dette fænomen kendes spredt fra alle dele af landet og kan ikke udelukkes at have haft særdeles stor udbredelse, da udskiftning af blot enkelte sten helt kan udviske rytmen i de vekselfarvede stik.<sup>16</sup> Yderligere kunne de mørke sten skabes ved at kalke røde sten, som regn siden har va-



Fig. 13. Roskilde Domkirkes helligtrekonger kapel fra o. 1460. Gavltrekanterne er stærkt fornyede, men facaderne er overvejende intakte. Efter *Danmarks Kirker*.

sket rene. Sådanne bemalede sten kendes både fra den senmiddelalderlige djurslandske herregård Gl. Estrup og det romanske vesttårn i Torup i Nordsjælland.<sup>17</sup>

I Danmarks senmiddelalderlige bygningskunst har kontrastfarvede sten yderligere været anvendt til bæltmuring. I Middelfart og Stubbekøbing er de røde facader på købstadskirkernes tårne brudt af vandrette bælte af gul- og orangeflammende sten, der ligesom de mørkbrændte sten kan være et biprodukt i teglfremstillingen; er rødleret under fremstillingen blevet forurenet med blåler, har dette haft indflydelse på de færdige



Fig. 14. Prydskifte af vekselfarvede teglsten om trappehusdøren til Ølgod Kirkes senmiddelalderlige tårn. Det omkringværende afrensede murværk er udført af røde sten og spredte mørke bindere. Foto: Th.B. 2005.

stens farve.<sup>18</sup> Bælterne på de to købstadskirker spiller en iøjnefaldende rolle for bygningernes ydre og er måske inspireret af byggerier langs den sydlige østersøkyst, hvor bæltmurede teglfacader er yndede i gotisk bygningskunst. En særlig fornem repræsentant ses i Rostock Sankt Maria, der efter tårnets nedstyrtning i 1398 blev genrejst med facader, der er helt opløst i smalle bælte af gulflammende og grønglaserede teglsten.<sup>19</sup>

Mens de hjemlige eksempler på regulær mønstermuring med kontrastfarvede teglsten er begrænsede, synes en mere diskret men ikke nødvendigvis mindre



*Fig. 15. Sorø Klosterkirkes nordside. Korsarmens gavl har bevaret store oprindelige facadepartier.. Foto: Arnold Mikkelsen, Nationalmuseet 2011.*

bevidst brug af polykrome tegldekorationer at have haft stor udbredelse. Hvor landets teglsatte middelalderkirker endnu står med blanke røde facader, er det mere reglen end undtagelsen, at de mørke sten indgår spredt som bindere, der danner et irregulært men jævnt mønster af mørke pletter på murfladerne. Denne brug kan synes uovervejende, men i Tånum vest for Randers indgår de mørke sten i tårnet fra o. 1500 fortrinsvist i facaden, mens bagmuren næsten udelukkende er sat i rødt tegl. Denne farvefordeling af stenmaterialet må tillægges, at teglstenene under opførelsen blev sorteret for at sikre, at de undertallige mørke sten blev anvendt i de synlige facader og ikke i bagmuren i tårnoverdelen, der sjældent blev besøgt.

Med tanke på navnlig senmiddelalderens bevidste brug af polykrome teglfacader er det langt fra usandsynligt, at der også tidligere blev foretaget en sortering af stenmaterialet, eksempelvis under opførelsen af Sorø Klosterkirke kort efter stiftelsen af cistercienserklosteret i 1161.<sup>20</sup> Også her kan bygmestrene have

haft en veldefineret holdning til facadernes farvespil, der imidlertid kun kendes i stærkt begrænset omfang. Under bygningens store restaurering, der forløb næsten uafbrudt fra 1859 til ca. 1910, blev flertallet af de oprindelige facadesten udskiftet, men på nordre korsarms gavl er bevaret et større facadeparti, som giver indblik i murenes oprindelige farver (fig. 15).<sup>21</sup> Facaden er her udført af røde sten, der ligesom de mange spredte mørkbrændte bindere og løbere varierer stærkt i farven. Når kirkens bagmure over loftet er sat af sten med en langt mere monokrom farveholdning, giver udsnittet indtryk af et velovervejende ønske om polykrome facader.

Ved opførelsen af den romanske klosterkirke synes der at have været en bevidst holdning til facadernes farvesætning, der ikke har adskilt sig fra den, som genkendes fra middelalderens sidste del. Mod middelalderens slutning kan brugen af polykrome facader ses som en velovervejende opløsning af murfladerne, der i tidens enkle sengotiske formsprog kun var præget af få og enkle detaljer. I det lys kan det overraske, at der i den romanske Sorø Klosterkirke ses en tilsvarende brug, da landets tidligste teglstenskunst netop karakteriseres ved mange og højt kultiverede facadedetaljer. Gesimsernes pyntelige rundbuefriser med dværgsøjler har utvivlsomt stået tydeligere i monokrome teglsten, som også ses anvendt i samtidens tyske teglkunst. Her blev de mørke sten omhyggeligt skjult i murkernerne frem til 1200-tallets begyndelse, hvor de mørke sten så småt fandt vej til facaderne.<sup>22</sup>

#### 4. Konklusion

Proveniensbestemmelse ved hjælp af størrelsen på murstenene er ikke mulig i de undersøgte dele af Sorø Klosterkirke. Proveniensbestemmelse ved hjælp af måling af magnetisk susceptibilitet og TL-følsom-



hed viser derimod tre forskellige skelnelige lerkilder: Bygningspartierne Sorø-1 og Sorø-7 fra lerkilde A, bygningsdel Sorø-2 fra lerkilde B og bygningsdel Sorø-6 fra lerkilde C. Bygningsdel Sorø-3, Sorø-4 og Sorø-5 er af blandet eller ubestemt proveniens.

Samtidige og præcise farvemålinger af stenene er for første gang rapporteret i denne undersøgelse. Disse målinger viser en systematisk variation i et ( $a^2, b^2$ )-diagram. Et bygningsparti, Sorø-1, ligger udelukkende blandt de brillant farvede sten, mens det i lerproveniens hermed sammenfaldende bygningsparti Sorø-7, ikke indeholder brillante sten overhovedet. Det tolkes som tegn på, at der er foretaget sortering af stenene enten på produktionsstedet eller mest sandsynligt på byggepladsen, og det betyder, at stenedes præcise farve formodentlig må have haft betydning for bygmesteren.

### Taksigelser

Ph.d. Vibe Bach (Aarhus Universitet) og leder af ærkæologien ved Øhavsmuseet Per Orla Thomsen takkes for hjælp ved prøvetagningen.

### Noter

1. Metoden er beskrevet i Rasmussen 1998, 1999, 2001, 2003, 2010, Kristensen & Rasmussen 2001-2002, 2004, Rasmussen & Lund 2004, Petersen et al. 2005, Rasmussen & Hjermand 2006 samt Rasmussen & Sørensen 2011.
2. *Danmarks Natur* 1 1984 s. 261.
3. Clemmensen 1922 s. 283-284; *KLNM: Tegl* 1982 sp. 153.
4. Klitgaard 1928 s. 260-261; Petresch-Christensen 1938 s. 232-234; Larsen 1986.
5. Böker 1988 s. 159-160.
6. Schanda 2007.
7. Schanda 2007.
8. Rasmussen 2008 s. 288.
9. Bertelsen 2010.
10. Kryger 2008.

11. *KLNM: Tegl* 1982 sp. 153; Bertelsen 2010 s. 60.
12. I de senmiddelalderlige vendsysselske kirketårne i Alstrup og Horsens indgår der således ikke mørkbrændte sten i de blanke gule bagmure.
13. *Danmarks Kirker: Københavns Amt* 1944-1951 s. 1469-1473.
14. Den tyske Orden tog angiveligt rudefrisen i brug første gang ved opførelsen af konventsborgen i Gniew (Mewe) (Torbus 1998 s. 324-326, 547-548). Lignende rudemønstre i tegl kendes i mindre grad fra andre dele af Europa, eksempelvis fra Sologne, hvor decorationen opnåede en kort popularitet omkring 1500 (Albrecht 1995 s. 103-105).
15. I Danmark ses en af de mest omfattende rudedekorationer på Karmeliterklosteret i Helsingør (*Danmarks Kirker: Frederiksborg Amt* s. 310-313; At hele rudedekorationen her er af middelalderlig afstamning og ikke tilkommet under en restaurering, er bekræftet ved undersøgelser af Thomas Bertelsen 2004. På Sjælland indgår decorationen bl.a. også i de senmiddelalderlige boder i Næstved og i Gåsetårnet i Vordingborg fra 1300-tallets anden del (Engqvist 1988 s. 41; Olsen 1996 s. 95). Blandt de få jyske eksempler kan nævnes sakristiet ved Visborg Kirke (Ålborg Amt), som blev opført o. 1590 (Carpentier Pedersen 1987 s. 16-20).
16. Denne enkle form for mønstermuring ses eksempelvis i stikene over glanhullerne i de senmiddelalderlige kirketårne i Skamby (Odense Amt), Stigs Bjergby (Holbæk Amt), Førslev og Sneslev (Sorø Amt) samt i trapphusdøren på det senmiddelalderlige kirketårn i Ølgod (Ribe Amt). Disse detaljer har Thomas Bertelsen konstateret ved bygningsundersøgelser i 2003.
17. *Danmarks Kirker: Frederiksborg Amt* s. 1639-1640; Bertelsen 2001-2002 s. 20-21.
18. I Middelfart blev der blot muret et enkelt smalt bælte på tårnunderdelen, men tårnet i Stubbekøbing fik to brede bælte på overdelen. Bælterne her er dog stærkt forstyrret af reparationer (*Danmarks Kirker: Odense Amt* s. 2256; Forholdene i Stubbekøbing er erkendt af Thomas Bertelsen i 2005).
19. Böker 1988 s. 159-160.
20. Vedrørende stiftelsesåret 1161 af Sorø Cistercienserkloster, der i litteraturen ofte henføres til 1162 (eksempelvis *Danmarks Kirker: Sorø Amt* s. 17) se: *Diplomatarium Danicum* 1957, nr. 51.
21. *Danmarks Kirker: Sorø Amt* s. 20-21, 24.
22. Ifølge Holst 2011 s. 72 fandt de mørkbrændte bindere tidligere vej til romanske teglfacader i Danmark end i Tyskland.

## Litteratur

- Albrecht, Uwe: *Der Adelsstiz im Mittelalter. Studien zum Verhältnis von Architektur und Lebensform in Nord- und Westeuropa*, München/Berlin 1995.
- Bertelsen, Thomas: Det middelalderlige Gammel Estrup, *Bygningsarkæologiske Studier* 2001-2002, s. 19-32.
- Bertelsen, Thomas: Teglstensformater og forbandter i Danmarks middelalder og renæssance, *Flensborgsten – om murstensformater, teglhandel og arkitektur*, Museum Sønderjylland – Cathrinesminde Teglværk & Cathrinesmindes Venner (udg.) 2010, s. 58-65.
- Böker, Hans Josef: *Die mittelalterliche Backsteinarchitektur Norddeutschlands*, Darmstadt 1988.
- Carpentier Pedersen, Finn: *Visborg Kirke – blade af dens historie*, Hadsund 1987.
- Clemmensen, Mogens: Slægtskabet mellem lombardisk og dansk teglstensarkitektur, *Aarbøger for Nordisk Oldkyndighed og Historie* 1922, s. 267-312.
- Danmarks Kirker*, København 1933-.
- Danmarks Natur*, bd. 1, A. Nørrevang & J. Lundø (red.), 3. udg., København 1984.
- Diplomatarium Danicum*: 1, rk. V, nr. 51, København 1957.
- Engqvist, Hans Henrik: De tre boders rekonstruktion, *Boderne i Næstved*, B. Skov (red.), Næstved 1988 s. 39-53.
- Holst, Jens Chr.: Dokumentation og datering af teglmurværk. Om iagttagelser og deres samspil i bygningsarkæologien, *Hikuin* 38 2011, s. 59-80.
- Klitgaard, Carl: *Skagen Bys Historie*, Skagen 1928.
- Kristensen, Hans Krongaard & Kaare Lund Rasmussen: Sct. Nicolai Kirkes bygningshistorie, *Årbog for Svendborg og Omegns Museum* 2000, s. 70-86.
- Kristensen, Hans Krongaard & Kaare Lund Rasmussen: Proveniensbestemmelser af brændt ler i middelalderlige bygninger, *Bygningsarkæologiske Studier* 2001-2002, s. 83-93.
- Kulturhistorisk Leksikon for Nordisk Middelalder*. Fotografisk genoptryk af 1. udg. 1956-1978, København 1980-1982. (Forkortes *KLNM*)
- Kryger, Karin: Sct. Nicolai Kirke i 1800-tallet, *Svendborg Sct. Nicolai*, Kaare Lund Rasmussen (red.), s. 142-178, Svendborg 2008.
- Larsen, Niels-Holger: Stemplede vingetegl, *Bygningsarkæologiske Studier* 1986, s. 101-110.
- Olsen, Rikke Agnete: *Borge i Danmark*, 2. udg., København 1996.
- Petersen, K.S., K.L. Rasmussen, P. Rasmussen & F. von Platen-Hallemund: Main environmental changes since the Weichselian glaciation in the Danish waters between the North Sea and the Baltic as reflected in the molluscan fauna, *Quaternary International* vol. 133-134, 2005, s. 33-46.
- Petresch-Christensen, Chr.: Lidt om gamle Teglstensmærker, navnlig de paa Skagen fundne, *Festskrift til C. Klitgaard*, Aarhus 1938 s. 230-235.
- Rasmussen, Kaare Lund: Ny arkæometrisk metode til proveniensbestemmelse af keramik, *Arkæologiske udgravninger i Danmark* 1998, s. 17-26.
- Rasmussen, Kaare Lund: Proveniensbestemmelse af keramik, *Arkæologisk Felthåndbog*, København, kap. Q4, s. 1-2 1999.
- Rasmussen, Kaare Lund: Provenance of ceramics revealed by magnetic susceptibility and thermoluminescence, *Journal of Archaeological Science*, vol. 28, 2001 s. 451-456.
- Rasmussen, Kaare Lund: On the provenance and firing temperature of pottery, *Khirbet Qumran et Ain Feshkha II, Novum Testamentum et Orbis Antiquus, Series Archaeologica* 3. J.-B. Humbert & J. Gunneweg (ed), Academic Press Fribourg, Vandenhoeck & Ruprecht Göttingen, 2003 s. 101-104.
- Rasmussen, Kaare Lund: Arkæometriske undersøgelser af Sct. Nicolai Kirke, *Svendborg Sct. Nicolai*, Kaare Lund Rasmussen (red.), Svendborg 2008, s. 142-178.
- Rasmussen, Kaare Lund: Proveniensbestemmelse af flensborgsten fra teglværkerne ved Illerstrand, Nivaagaard og Prøvelyst *Flensborgsten – om murstensformater, teglhandel og arkitektur*, Museum Sønderjylland – Cathrinesminde Teglværk & Cathrinesmindes Venner (udg.) 2010, s. 97-101.
- Rasmussen, Kaare Lund & John Lund: On the Clay Provenance of Rhodian Transport Amphorae, *Transport Amphorae and Trade in the Eastern Mediterranean. Monographs of the Danish Institute at Athens*, vol. 5, Jonas Eiring and John Lund (red.), Athen 2004 s. 325-327.
- Rasmussen, Kaare Lund & A.B. Sørensen: Proveniensbestemmelser på keramikken fra Østergård og Starup Østertoft, Østergård – vikingetid og middelalder, Anne Birgitte Sørensen (red.), Haderslev 2011 s. 368-380.
- Rasmussen, Kaare Lund & Jesper Hjeremind: Bestemmelse af proveniens og brændingstemperatur på tidligmiddelalderlig keramik, lerklining m.v. fra Viborg og Spangsbjerg, *Viborg Søndersø 1018-1030*, M. Iversen, D. E. Robinson, J. Hjeremind & C. Christensen (red.), Højbjerg 2006 s. 423-437.
- Schanda, Janos (ed.): *Colorimetry: understanding the CIE system*, New York 2007.
- Torbus, Tomasz: *Die Konventsburgen im Deutschordensland Preussen*, Hamburg 1998.